

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **2 454 656** (13) C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[G01N 11/16 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 27.10.2015)

(21)(22) Заявка: [2010143212/28](#), 21.10.2010(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.10.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.10.2010

(45) Опубликовано: [27.06.2012](#) Бюл. № 18

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2299425 C1, 08.12.2005. RU 94706 U1, 27.05.2010. EP 983450 B1, 18.08.2004. EP 681176 B1, 21.05.2003. Тягунов Г.В. и др. Измерение удельного электрического сопротивления методом вращающегося магнитного поля. - Заводская лаборатория. - М., №2, т.69, с.35-37, 2003. Тягунов Г.В. и др. Установка для измерения кинематической вязкости

металлических расплавов. - Заводская лаборатория, №10, с.919-920, 1980. Арсентьев П.П. и др. Физико-химические методы исследования металлургических процессов. - М.: Металлургия, с.126-127, 1988.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
Центр интеллектуальной собственности,  
Т.В. Маркву

(72) Автор(ы):

Конашков Виктор Васильевич (RU),  
Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),  
Вьюхин Владимир Викторович (RU),  
Цепелев Владимир Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина" (RU)

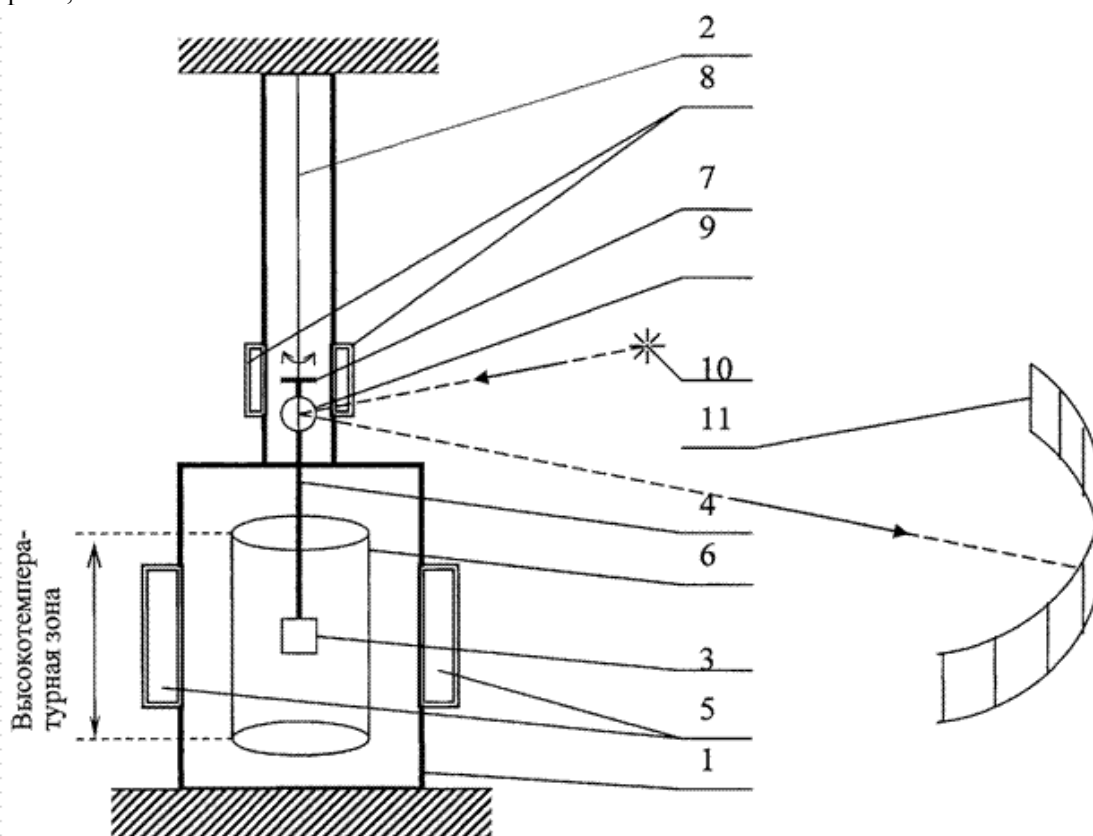
## (54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ (ВАРИАНТЫ)

(57) Реферат:

Группа предлагаемых изобретений относится к технической физике, а именно - к анализу материалов путем бесконтактного фотометрического определения кинематической вязкости и удельного электрического сопротивления нагреваемого тела в зависимости от температуры. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава. Для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое

основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом. При этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства. Причем электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из начальных периодов траектории отраженного светового луча. После чего отключают вращающееся магнитное поле и определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость. Причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства.

Техническим результатом изобретения является сокращение времени измерения обоих параметров, повышение достоверности и точности измерений, расширение функциональных возможностей, упрощение и удешевление эксперимента, а также обеспечение возможности снижения угара расплава или его компонентов. 3 н. и 6 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 1

Группа предлагаемых изобретений относится к технической физике, а именно - к анализу материалов путем бесконтактного фотометрического определения кинематической вязкости и удельного электрического сопротивления нагреваемого тела в зависимости от температуры, в частности, к определению кинематической вязкости и относительной электропроводности металлов и сплавов в жидком и/или твердом состоянии.

Многopараметрическое бесконтактное фотометрическое определение физико-химических параметров высокотемпературных ( $t_{пл}=1000...2000^{\circ}\text{C}$ ) металлических жидкостей и расплавов, прежде всего, вискозиметрия - определение кинематической вязкости в образце, помещенном в тигель объемом несколько кубических сантиметров, который подвешен на упругой проволоке внутри вакуумной электропечи, а также бесконтактное определение электропроводности (электросопротивления) образца способом вращающегося магнитного поля, позволяют проводить анализ материалов и давать рекомендации для получения сплавов с заданными характеристиками на предприятиях, в частности, корректировать технологические режимы. В основе анализа политерм (температурных зависимостей) многокомпонентных промышленных расплавов лежат сведения о температурных зависимостях физических характеристик металлов, причем определяемые параметры связаны между собой соотношениями, количественно

совпадающими с экспериментами. Анализ политейм двух структурно чувствительных термозависимых параметров - вязкости и удельного электросопротивления, позволяет выделять особые температурные точки, в частности температуру начала гистерезиса  $t_r$ , критическую  $t_{кр}$  и температуру аномального изменения свойств расплава  $t_{ан}$ , а также гистерезисные характеристики цикла «нагрев - охлаждение».

Экспериментальное определение политейм каждого из вышеуказанных параметров, в том числе гистерезиса (ветвления политейм) и его особенностей, осуществляет высококвалифицированный персонал в процессе сложного многочасового эксперимента, характеризуемого большим энергопотреблением и многочасовыми подготовительными работами. Выполнение экспериментов одновременно на общей для обоих параметров - вязкости и удельного электросопротивления, установке в ряде случаев является целесообразным, особенно при быстроиспаряющихся расплавах с большим угаром компонентов расплава.

Известно, что метод вращающегося магнитного поля, используемого при определении удельного электрического сопротивления металлических расплавов в зависимости от температуры, заключается в том, что тигель с измеряемым образцом расплава или эталоном подвешивается на упругой, например нихромовой, нити внутри высокотемпературной зоны вакуумной электропечи в области вращающегося однородного постоянного магнитного поля - см. Г.В.Тягунов и др. Измерение удельного электрического сопротивления методом вращающегося магнитного поля, ж. «Заводская лаборатория», М., 2003, №2, т.69, стр.35-37. Это поле создают тремя парами катушек, питающихся от трехфазной силовой сети 50 Гц, являющихся аналогом статора асинхронного двигателя. Поле генерирует индукционные токи в образце, являющемся аналогом ротора асинхронного двигателя, что создает магнитный момент. Образец расплава взаимодействует с магнитным полем, создается вращательный механический момент, которому противодействует упругость нити. Угол поворота образца при этом функционально связан с удельным электросопротивлением образца расплава, амплитудой и частотой магнитного поля и с коэффициентом упругости нити. При фиксированном значении параметров магнитного поля и упругой нити, а также геометрии, массы и плотности эталонного и изучаемого образца расплава электросопротивление однозначно связано с углом отклонения (закручивания нити) эталона или изучаемого образца, который определяют посредством фотоприемного устройства, например по наблюдению отраженного светового луча («зайчика») на шкале оптической линейки.

Момент сил  $M$ , действующих на тигель с образцом металлического расплава с удельным электросопротивлением  $\rho$  в однородном магнитном поле напряженностью  $H$ , пропорционален частоте  $f$ , квадрату напряженности поля  $H$  и удельной электропроводности  $1/\rho$  образца расплава. Иными словами, момент сил  $M$  закручивания упругой нити на угол  $\phi$  при стабилизированном токе  $I$  в катушках и, следовательно, постоянном по величине вращающемся магнитном поле однозначно связан с удельным электросопротивлением  $\rho$  образца. Известна расчетная формула для сравнительного вычисления удельного электросопротивления  $\rho$  - см. вышеуказанное - Г.В.Тягунов и др. Измерение удельного электрического сопротивления методом вращающегося магнитного поля, ж. Заводская лаборатория, М., 2003, №2, т.69, стр.36, формула 1:

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{m d_0}{m_0 d} \right)^{1,76} \left( \frac{\phi_0 / I_0^2}{\phi / I^2} \right), \quad (1)$$

где  $m$ ,  $m_0$  - массы исследуемого и эталонного образцов расплава соответственно;  $d$ ,  $d_0$  - плотности исследуемого и эталонного образцов соответственно;  $\rho_0$  - удельное электросопротивление эталона;  $\phi$ ,  $\phi_0$  - углы закручивания (поворота) исследуемого и эталонного образцов соответственно, равные угловому отклонению отраженного светового луча;  $I$ ,  $I_0$  - ток, проходящий по катушкам источника вращающегося постоянного магнитного поля при исследовании образца и эталона соответственно.

Основой вычисления кинематической вязкости  $\nu$  расплавов путем бесконтактного фотометрического метода является ее связь с логарифмическим декрементом затухания  $\delta$ :

$$\nu \sim \delta^2 \quad [2]$$

Кинематическую вязкость  $\nu$  расплава определяют на основе измерения амплитуд затухающих колебаний  $A_i$ , логарифмического декремента затухания  $\delta = \ln(A_i/A_{i+1})$ , периодов  $T_i$ , временных значений  $\tau_i$ , числа  $n_i$  крутильных колебаний тигля с расплавом. При этом используют произвольное, пригодное для конкретной установки,

число  $n_i$  амплитуд  $A_i$  затухающих колебаний для определения декремента затухания  $\delta$ . Более предпочтительно для искомого декремента затухания  $\delta$  осуществлять расчет по преобразованной формуле - см. Г.В.Тягунов и др. Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов, ж. Заводская лаборатория, 1980, №10, с.919-920:

$$\delta = 1 / N \ln (A_0 / A_n) = 1 / N \ln (V_0 / V_n) = 1 / N \ln (\tau_n / \tau_0) \quad [3]$$

где  $N$  - номер колебания;

$A_0, A_n$  - начальная и конечная амплитуды колебаний;

$V_0, V_n$  - начальная и конечная скорости прохождения светового луча между двумя фотодатчиками или точками измеряемых амплитуд;

$\tau_0, \tau_n$  - начальное и конечное время прохождения светового луча между фотодатчиками или заданными точками измеряемых амплитуд.

Более высокую точность определения логарифмического декремента затухания  $\delta$  дает использование не амплитудных, а временных отрезков и их отношений, поскольку измерение временных отрезков может быть реализовано, например, посредством типовых частотомеров - хронометров с 8-10 значащими цифрами с высокой точностью. Компьютерное измерение временных отрезков, с учетом собственной высокой тактовой частоты компьютера, также обеспечивает выполнение расчетов с необходимой точностью, поскольку заполнение тактовыми импульсами этих временных отрезков превышает их длительность на 5-8 порядков.

Известен нестационарный бесконтактный фотометрический способ определения кинематической вязкости  $\nu$ , основанный на определении посредством фотоприемного устройства параметров траектории отраженного светового луча, а именно, значений экспоненциального затухания (логарифмического декремента затухания  $\delta$ ) принудительно созданных посредством электромагнитного узла для осуществления крутильных колебаний, угловых отклонений тигля с расплавом, который подвешен в термической зоне вакуумной электропечи на упругой нити, путем наблюдения за положением отраженного светового луча («зайчика») на шкале полупрозрачной оптической линейки с использованием интегральных фотосенсоров - см. патент РФ №2386948 - аналог. Недостатком этого способа является невозможность одновременного с определением вязкости  $\nu$  определения электрического сопротивления  $\rho$  расплава вследствие отсутствия в термической зоне вращающегося магнитного поля.

Известен нестационарный бесконтактный фотометрический способ определения кинематической вязкости  $\nu$  методом крутильных колебаний и электрического сопротивления  $\rho$  методом вращающегося магнитного поля расплава посредством использования установки для реализации этого способа - см. Арсентьев П.П и др. Физико-химические методы исследования металлургических процессов. М.: Металлургия, 1988, стр.126-127 - аналог.

Недостатками способа являются отсутствие в установке узла для создания крутильных колебаний тигля с расплавом, использование малых амплитуд и длительного, до десятков минут, затухания колебаний, противоречивые требования к объему образца, необходимость подбора токов в обмотках катушек, создающих вращающееся магнитное поле, чтобы отклонение подвесной системы не зависело от вязкости расплава, а также визуальный отсчет угла закручивания по стационарному положению светового зайчика на шкале. Это увеличивает время исследований, уменьшает точность определения обоих параметров, ограничивает область применения способа, снижает возможность исследований разных расплавов без существенной перенастройки установки.

Известен нестационарный бесконтактный фотометрический способ для бесконтактного измерения удельного электрического сопротивления  $\rho$  образца металлического расплава методом вращающегося магнитного поля - см. пат. РФ №2299425 - прототип, в котором используют находящееся в зоне нагрева вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, для создания крутильных колебаний тигля с образцом расплава, расположенного на конце упругой подвески, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов элементов фотоприемного устройства.

Недостатком способа является необходимость осуществления экспериментатором, в соответствии с его квалификацией, демпфирования собственных экспоненциально затухающих колебаний подвески с тиглем и расплавом в нем перед измерением путем временного, в течение дополнительных 0,5-5 минут, воздействия на подвеску

дополнительного временного магнитного поля, создаваемого периодически включаемым экспериментатором дополнительным магнитным узлом, расположенным вне зоны действия вращающегося постоянного магнитного поля. Только после этого начинают собственно измерение электросопротивления  $\rho$  расплава методом вращающегося магнитного поля. В результате возрастает время измерения удельного электросопротивления  $\rho$  расплава в каждой температурной точке на вышеуказанные 0,5-5 минут, эксперимент усложняется и затягивается, примерно, на 1-4 часа, сохраняется влияние на эксперимент квалификации экспериментатора, существует риск угара расплава или его компонентов. Возможность использования способа и установки для его реализации при изучении кинематической вязкости в материалах прототипа не отмечена.

Задачей предлагаемой группы изобретений является сокращение времени измерения обоих параметров, повышение достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины параметров расплава при изменениях температуры, расширение функциональных возможностей, упрощение и удешевление эксперимента, а также обеспечение возможности снижения угара расплава или его компонентов.

Для решения поставленной задачи предлагается способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлических расплавов (варианты).

Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства, отличающийся тем, что электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из первых периодов траектории отраженного светового луча, после чего отключают вращающееся магнитное поле и определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость, причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства.

Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства, отличающийся тем, что электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из первых периодов траектории отраженного светового луча, после чего отключают вращающееся магнитное поле, включают временно дополнительное магнитное поле, после выключения которого определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость, причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства,

Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства, отличающийся тем, что электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из первых периодов траектории отраженного светового луча, после чего, не отключая вращающееся магнитное поле, включают временно

дополнительное магнитное поле, после выключения которого определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость, причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства,

Кроме того, в качестве исходного параметра при расчете электрического сопротивления расплава используют модуль разности длительностей импульсных выходных сигналов фотоприемного устройства от соседних полупериодов траектории отраженного светового луча.

Кроме того, в качестве фотоприемного устройства используют устройство, состоящее из  $N$  фотосенсоров, где  $N$  - целое число.

Совокупность отличительных признаков предложенных технических решений обеспечивает возможность сокращения времени измерения, повышения объективности, достоверности и точности измерений кинематической вязкости и удельного электрического сопротивления металлического расплава путем отсчета углов поворота исследуемого образца в условиях быстроменяющейся температуры, упрощения и удешевления эксперимента, а также снижения угара расплава или его компонентов.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами:

фиг.1 Блок-схема измерительного комплекса;

фиг.2. Траектория отраженного светового луча, соответствующая крутильным колебаниям тигля с образцом расплава;

фиг.3. Траектория отраженного светового луча при определении вязкости и электрического сопротивления по первому варианту;

фиг.4. Траектория отраженного светового луча при определении вязкости и электрического сопротивления по второму варианту;

фиг.5. Траектория отраженного светового луча при определении вязкости и электрического сопротивления по третьему варианту;

фиг.6. Основные осциллограммы оптических и электрических сигналов;

фиг.7. Алгоритм определения угла поворота тигля с образцом расплава.

Установка для реализации вариантов способа бесконтактного измерения кинематической вязкости и удельного электрического сопротивления металлического расплава методом вращающегося магнитного поля приведена на фиг.1. Устройство содержит компьютер (на фиг.1 не показано), вакуумную электропечь 1, в зоне нагрева которой на подвеске 2 коаксиально подвешен тигель 3 для размещения в нем исследуемого образца, соединенный с упругой частью подвески 2 с помощью керамического стержня 4. Основным источником 5 вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг вакуумной печи 1, расположен в области высокотемпературной зоны, создаваемой коаксиальным цилиндрическим нагревателем 6, питающимся от трехфазной силовой сети (на фиг.1 не показано). На верхнем конце керамического стержня 4 зафиксирован магнитный элемент 7, например, выполненный в виде цилиндра. Дополнительный источник 8 временного дополнительного магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг магнитного элемента 7, размещен вне зоны нагрева тигля 3 с исследуемым образцом металлического расплава и вне зоны действия вращающегося постоянного магнитного поля основного источника 5. Оптическое измерительное устройство состоит из зеркала 9, закрепленного на верхнем конце керамического стержня 4, источника света 10 и фотоприемного устройства 11.

В качестве упругой части подвески 2 используется нихромовая нить длиной около 650 и диаметром 0,08 мм. Объем образца исследуемого металлического расплава в тигле 3 составляет 0,5 см куб. Магнитная система источника 5 вращающегося постоянного магнитного поля выполнена в виде катушек статора трехфазного электродвигателя с суммарной потребляемой мощностью, примерно, 650 Вт и запитана от трехфазного стабилизатора питания (на схеме не показан) через переключатель направления вращения магнитного поля (на схеме не показан). Коаксиальный молибденовый нагреватель 6, обеспечивающий изотермическую зону, включен постоянно в течение всего эксперимента. Зеркало 7 имеет площадь 1 см кв., свет попадает на него от источника света 8, например лампы накаливания или светодиода, через окно-иллюминатор (на схеме не показано) и отражается на фотоприемное устройство 11, состоящее из симметричной горизонтальной полупрозрачной оптической линейки с ценой деления 1 мм и длиной 500 мм (с нулем шкалы посередине), на которой зафиксированы малогабаритные фотоэлементы в виде интегральных фотосенсоров TSL250 фирмы TAOS - см. каталог ELFA - 55, 2007, р. 812, в количестве  $N$ , например 11 штук (на схеме не показано), которые зафиксированы, например, на межцентровом расстоянии (измерительной базе)  $L=50$  мм друг от друга, симметрично относительно центра шкалы, в котором помещен один

фотосенсор. Функционально фотосенсор в центре симметричной полупрозрачной оптической линейки фотоприемного устройства 11 является основным, остальные фотосенсоры - вспомогательные. Выходные сигналы фотоприемного устройства 11 могут быть представлены в этом случае в виде N-канальной ( $N=11$  каналов в данном случае) последовательности импульсов. Определение временных параметров  $\tau_i$ ; выходных электрических сигналов фотоприемного устройства 11 может быть осуществлено при подаче их по шине данных на вход серийного прибора - программного реверсивного счетчика Ф5007 или алгоритмически посредством персонального компьютера.

Измерение удельного электросопротивления  $\rho$  осуществляется следующим образом. Подготавливают разноразмерные эталонный и изучаемый образцы, у которых определяют массу и плотность. Затем проводят два одинаковых эксперимента - градуировочный, с эталоном, например, с монокристаллом вольфрама с известными электросопротивлением и плотностью, а после - с измеряемым образцом. Эталонный образец в тигле 3 подвешивают в вакуумную электропечь 1 в район высокотемпературной изотермической зоны, включают фотоприемное устройство 11 и отраженный световой луч от зеркала 7 устанавливают в центре симметричной полупрозрачной оптической линейки фотоприемного устройства 11, при этом засвечивают центральный фотосенсор. Затем создают вакуум до 0,01 Па, после чего производят нагрев изотермической зоны электропечи 1 коаксиальным нагревателем 6 до температуры, с которой начинается процесс снятия данных для измерений. При прогреве до нужной температуры включают вращающееся магнитное поле посредством включения источника 5 этого поля.

Колебательная траектория отраженного светового луча 12 при вращательных колебаниях подвески 2 с тиглем 3 с образцом расплава, начиная с начального момента - включения вращающегося магнитного поля, приведена на фиг.2. Сначала проводят определение удельного электрического сопротивления  $\rho$  металлического расплава, затем включают дополнительное временное магнитное поле посредством включения источника 8 этого поля, после отключения которого определяют логарифмический декремент затухания  $\delta$  для вычисления кинематической вязкости  $\nu$ . В обоих случаях используют определение временных данных ряда текущих значений траектория отраженного светового луча 12 и их соотношений посредством регистрации момента срабатывания освещаемых элементов фотоприемного устройства 11, в результате чего на выходной шине фотоприемного устройства 11 (на фиг.1 не показано) появляются выходные электрические сигналы. Они вводятся в компьютер (на фиг.1 не показано) посредством, например, USB или COM - порта.

На фиг.3, 4 и 5 проиллюстрированы варианты колебательной траектории отраженного светового луча 12, иллюстрирующие ее динамику соответственно при первом, втором и третьем вариантах способа измерения кинематической вязкости  $\nu$  и электрического сопротивления  $\rho$  металлического расплава в одной температурной точке. Колебания отраженного светового луча 12 затухают по экспоненциальному закону 13, стремясь к установлению, примерно за 10 минут, конечного значения угла поворота  $\varphi_k$ , соответствующего значению удельного электрического сопротивления  $\rho$  измеряемого металлического расплава в данной температурной точке. Определение величин временных отрезков, необходимых для вычисления логарифмического декремента затухания  $\delta$  и дальнейшего вычисления кинематической вязкости  $\nu$  измеряемого металлического расплава в данной температурной точке, начинают через 1-2 собственных колебания после выключения экспериментатором в момент  $\tau_{off}$  основного вращающегося поля, по первому варианту, и в момент выключения  $\tau_{off}$  доп дополнительного временного магнитного поля по второму и третьему вариантам. Момент включения  $\tau_{on}$  доп дополнительного временного магнитного поля, одновременный с моментом  $\tau_{off}$  выключения основного вращающегося магнитного поля, определяет экспериментатор, при этом нарастание амплитуды крутильных колебаний после включения дополнительного временного магнитного поля 14 приблизительно соответствует закону  $(1-e^x)$ . Способ определения логарифмического декремента затухания  $\delta$  и дальнейшего вычисления кинематической вязкости  $\nu$  измеряемого металлического расплава в данной температурной точке соответствует, например, предложенному в вышеуказанном пат. РФ №2386948, либо может быть реализован на основе алгоритма, приведенного на фиг.7.

Определение удельного электрического сопротивления  $\rho$  измеряемого металлического расплава в данной температурной точке заслуживает отдельного рассмотрения и иллюстрируется осциллограммами, приведенными на фиг.6. Они иллюстрируют определение временных отрезков 15  $\tau_m = \tau_1 - \tau_0$  и 16  $\tau_n = \tau_2 - \tau_1$ , их

соотношений и соответствующих им импульсных сигналов 17  $U_m$ , 18  $U_n$ . В начальный момент времени  $\tau_0$ , перед включением вращающегося магнитного поля, отраженный световой луч 12 устанавливают котирующим узлом фотоприемного устройства 11 (на фиг.1 не показано) на центральном фотосенсоре фотоприемного устройства 11 (в центре симметричной полупрозрачной оптической линейки), который вырабатывает соответствующий импульсный сигнал  $U_0$  (на фиг.6 не показано), являющийся выходным сигналом фотоприемного устройства 11 и стартовым сигналом для компьютера, который через выходную шину фотоприемного устройства 11 вводится в компьютер (на фиг.1 не показано) посредством, например, USB или COM-порта.

В результате воздействия на образец расплава вращающегося магнитного поля и соответствующего колебательного (углового) отклонения траектории отраженного светового луча 12 прекращается освещение центрального фотосенсора фотоприемного устройства 11, а электрический сигнал на выходе фотоприемного устройства 11  $U_i=0$ . В момент  $\tau_1$ , соответствующий концу первого полупериода и началу второго, соседнего полупериода колебательной траектории отраженного светового луча 12, происходит кратковременное, в несколько долей секунды, освещение центрального фотосенсора фотоприемного устройства 11, на выходе которого снова появляется и исчезает соответствующий кратковременный электрический сигнал  $U$  (на схеме не показан).

В момент  $\tau_2$ , соответствующий концу одного периода и началу следующего, соседнего периода колебательной траектории отраженного светового луча 12, снова происходит кратковременное освещение фотосенсора фотоприемного устройства 11, на выходе которого снова появляется и исчезает соответствующий сигнал  $U$ . Передний фронт сигнала  $U$  в момент  $\tau_0$  является сигналом начала процедуры измерений и старта компьютерной программы оцифровки колебательной траектории светового луча 12, определения временных параметров 15  $\tau_m=\tau_1-\tau_0$  и 16  $\tau_n=\tau_2-\tau_1$ , посредством подсчета количества заполняющих эти временные отрезки импульсов 17  $U_m$ , 18  $U_n$ , величины их разности 19  $(U_m-U_n)$  и 20  $(U_m-U_n)$ , модуля этой величины 21  $|U_m-U_n|$  и вычисления угла поворота  $\varphi_k$  по этим величинам. В случае нулевого угла  $\varphi$  значения временных отрезков 15  $\tau_m=\tau_1-\tau_0$  и 16  $\tau_n=\tau_2-\tau_1$  одинаковы, количество импульсов на этих отрезках 17  $U_m$ , 18  $U_n$  также одинаковое, соответственно их разность 19  $(U_m-U_n)$  и ее модуль 21  $|U_m-U_n|$  равны нулю.

В случае 20  $(U_m-U_n)\neq 0$ , при наличии вращающегося магнитного поля, временные параметры 15  $\tau_m=\tau_1-\tau_0$  и 16  $\tau_n=\tau_2-\tau_1$  пропорциональны ненулевой величине угла  $\varphi$  отклонения траектории светового луча 12. Величина модуля разности 21  $|U_m - U_n|$  временных параметров 15  $\tau_m=\tau_1-\tau_0$  и 16  $\tau_n=\tau_2-\tau_1$  отражает значения угла  $\varphi$  отклонения траектории светового луча 12. Начинать процедуру измерений желательно не ранее второго полупериода первого колебания, чтобы исключить влияние на результаты измерения переходного процесса после включения вращающегося магнитного поля.

Два временных отрезка 15  $\tau_m=\tau_1-\tau_0$  и 16  $\tau_n=\tau_2-\tau_1$  имеют длительность в доли периода, реально - единицы секунд, соответствуют соседним полупериодам колебательной траектории светового луча 12 с электрическим сигналом 17  $U_m$  и 18  $U_n$ . Тактовая частота импульсов компьютера выше 100 МГц, что обеспечивает выполнение расчетов с необходимой точностью, при этом заполнение тактовыми импульсами вышеуказанных временных отрезков превышает их на 5-8 порядков. Это обеспечивает их подсчет компьютером в случае определения временных интервалов 15  $\tau_m=\tau_1-\tau_0$  и 16  $\tau_n=\tau_2-\tau_1$  выходных электрических сигналов фотоприемного устройства 11, разности между ними 19, 20 и вычислении модуля 21 этой разности, по которому определяют угол  $\varphi$  отклонения тигля 3 с исследуемым образцом расплава. На фиг.7 приведен алгоритм определения угла  $\varphi$  отклонения тигля с образцом расплава при определении обоих его параметров - кинематической вязкости и электрического сопротивления.

В случае возможного смещения колебаний светового луча 12 вне зоны действия центрального фотосенсора фотоприемного устройства 11, его роль выполняет тот из  $N$  вспомогательных фотосенсоров, соединенных шиной данных с компьютером, например, через схему «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», который в данный момент освещается отраженным световым лучом 12. При этом каждый из них может быть идентифицирован со своим номером сигналом, содержащим информацию о номере фотосенсора, например кодовое сочетание из нескольких добавочных импульсов, и



соответствует своему диапазону углов  $\varphi$  отклонения тигля 3 с исследуемым образцом расплава. Процедура выполнения эксперимента при этом не меняется.

Определение в данной температурной точке угла  $\varphi$  отклонения тигля 3 с исследуемым образцом при измерении электрического сопротивления  $\rho$  металлического расплава методом вращающегося магнитного поля путем измерения двух временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства  $11:15 \tau_m = \tau_1 - \tau_0$  и  $16 \tau_n = \tau_2 - \tau_1$ , соответствующих соседним полупериодам одного из первых колебаний траектории светового луча 12, с учетом периода собственных колебаний в 5-10 секунд, позволяет получить значение этого угла за время, близкое к длительности одного-двух периода собственных колебаний, что сокращает общее время эксперимента, примерно, на 1-4 часа. Это обеспечивает повышение объективности, достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электросопротивления  $\rho$  расплава при изменениях температуры. Определение кинематической вязкости  $\nu$  при этом происходит без дополнительных подготовительных процедур, а также подготовки заново измерительной установки, по сути дела - в ускоренном режиме, через несколько периодов колебаний, после определения электросопротивления  $\rho$  расплава.

Предлагаемая группа изобретений обеспечивает сокращение времени определения параметров кинематической вязкости и электрического сопротивления расплава, повышение достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины параметров расплава при изменениях температуры, расширение функциональных возможностей, упрощение и удешевление эксперимента, а также обеспечивает возможность снижения угара расплава или его компонентов в ходе эксперимента.

#### Формула изобретения

1. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства, отличающийся тем, что электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из начальных периодов траектории отраженного светового луча, после чего отключают вращающееся магнитное поле и определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость, причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства.

2. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава по п.1, отличающийся тем, что в качестве исходного параметра при расчете электрического сопротивления расплава используют модуль разности длительностей импульсных выходных сигналов фотоприемного устройства, соответствующих соседним полупериодам траектории отраженного светового луча.

3. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава по п.1, отличающийся тем, что в качестве фотоприемного устройства используют устройство, состоящее из  $N$  фотосенсоров, где  $N$  - целое число.

4. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства, отличающийся тем, что электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из первых периодов траектории отраженного светового луча, после чего отключают вращающееся магнитное поле, включают временно

дополнительное магнитное поле, после выключения которого определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость, причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства.

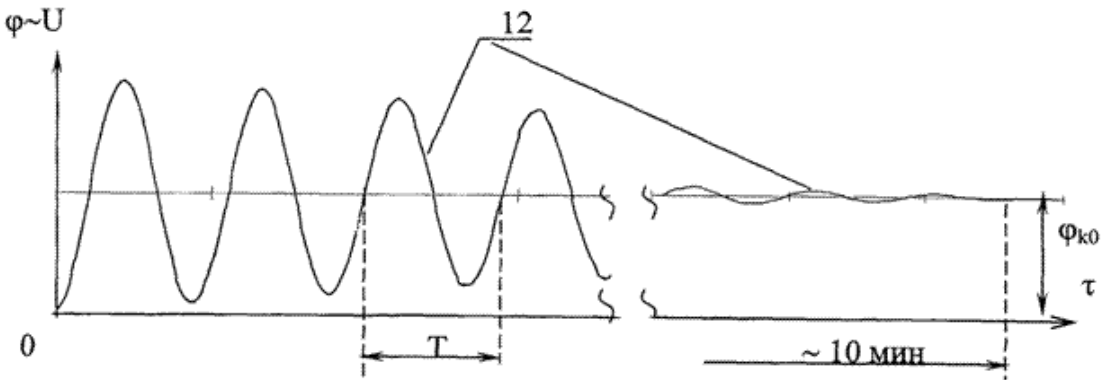
5. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава по п.4, отличающийся тем, что в качестве исходного параметра при расчете электрического сопротивления расплава используют модуль разности длительностей импульсных выходных сигналов фотоприемного устройства, соответствующих соседним полупериодам траектории отраженного светового луча.

6. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава по п.4, отличающийся тем, что в качестве фотоприемного устройства используют устройство, состоящее из N фотосенсоров, где N - целое число.

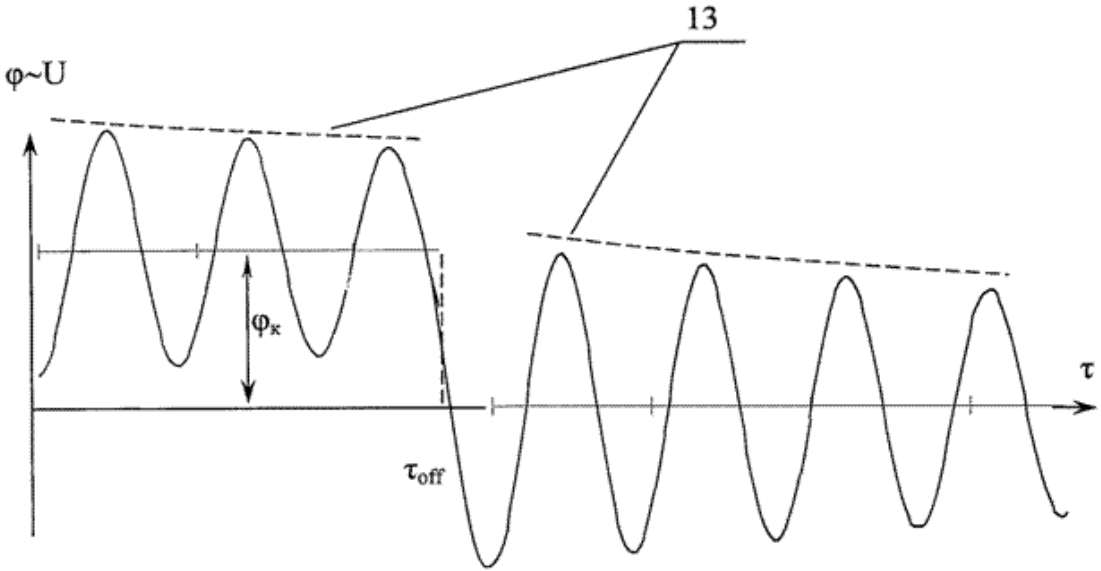
7. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, для чего используют находящееся в зоне нагрева исследуемого образца вращающееся магнитное поле, создаваемое основным магнитным узлом, и временное дополнительное магнитное поле вне зоны нагрева, создаваемое дополнительным магнитным узлом, при этом фотометрически определяют параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей углу поворота при крутильных колебаниях тигля с образцом расплава, посредством выходных электрических сигналов фотоприемного устройства, отличающийся тем, что электрическое сопротивление расплава определяют с момента воздействия на него вращающимся магнитным полем путем измерения параметров соседних полупериодов одного из первых периодов траектории отраженного светового луча, после чего, не отключая вращающееся магнитное поле, включают временно дополнительное магнитное поле, после выключения которого определяют величину логарифмического декремента затухания, по значению которой рассчитывают кинематическую вязкость, причем во всех измерениях используют сравнение временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства.

8. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава по п.7, отличающийся тем, что в качестве исходного параметра при расчете электрического сопротивления расплава используют модуль разности длительностей импульсных выходных сигналов фотоприемного устройства, соответствующих соседним полупериодам траектории отраженного светового луча.

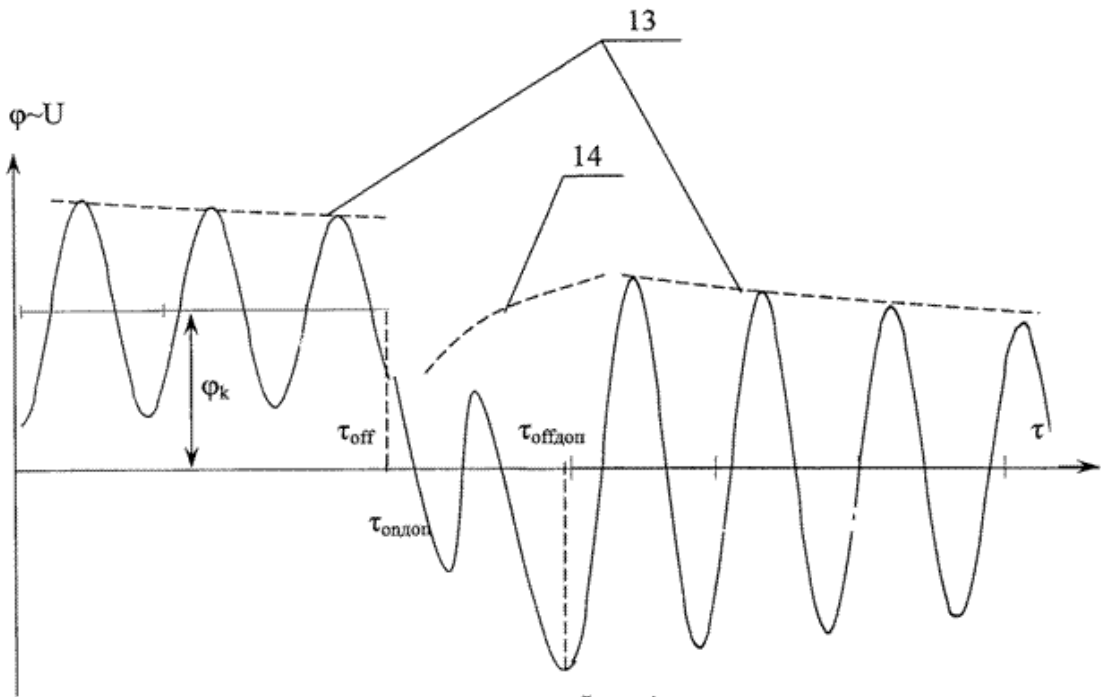
9. Способ измерения кинематической вязкости и электрического сопротивления металлического расплава по п.7, отличающийся тем, что в качестве фотоприемного устройства используют устройство, состоящее из N фотосенсоров, где N - целое число.



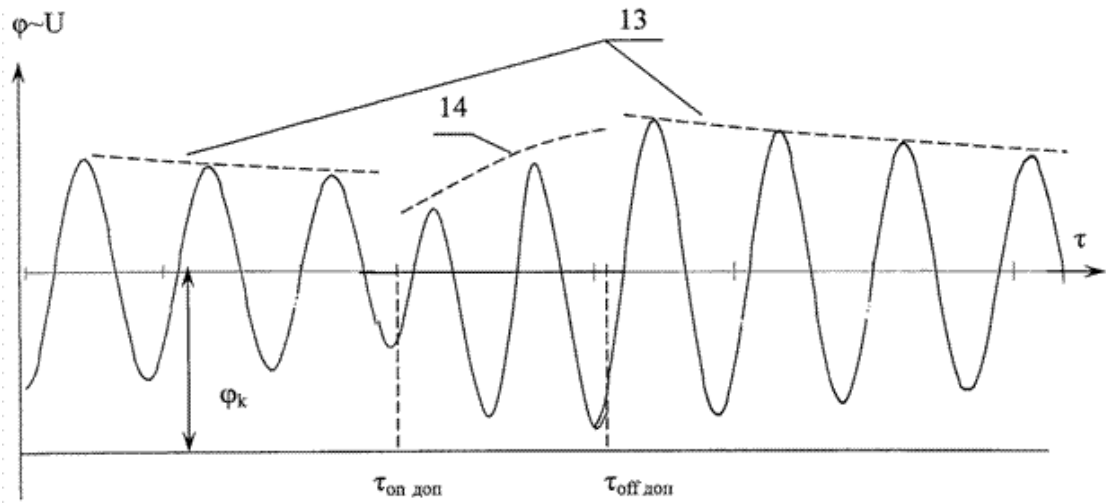
Фиг. 2



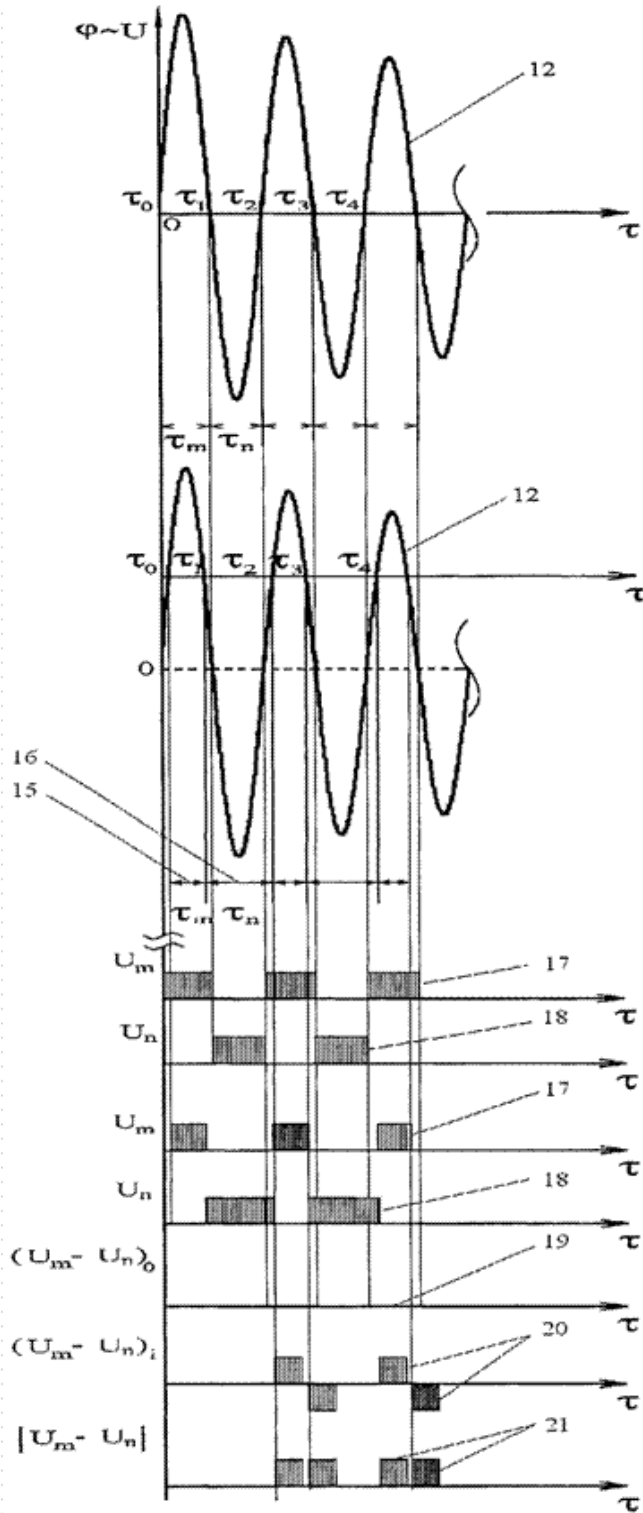
Фиг. 3



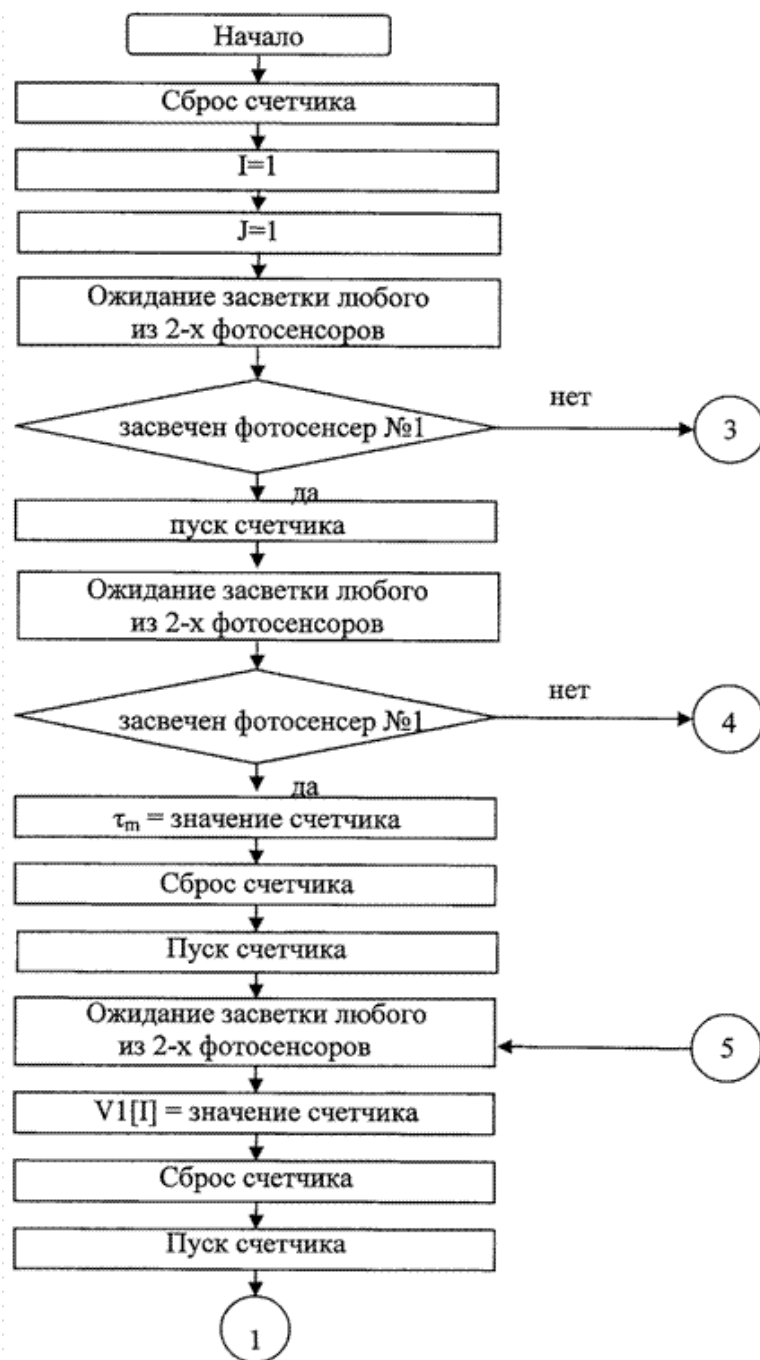
Фиг. 4



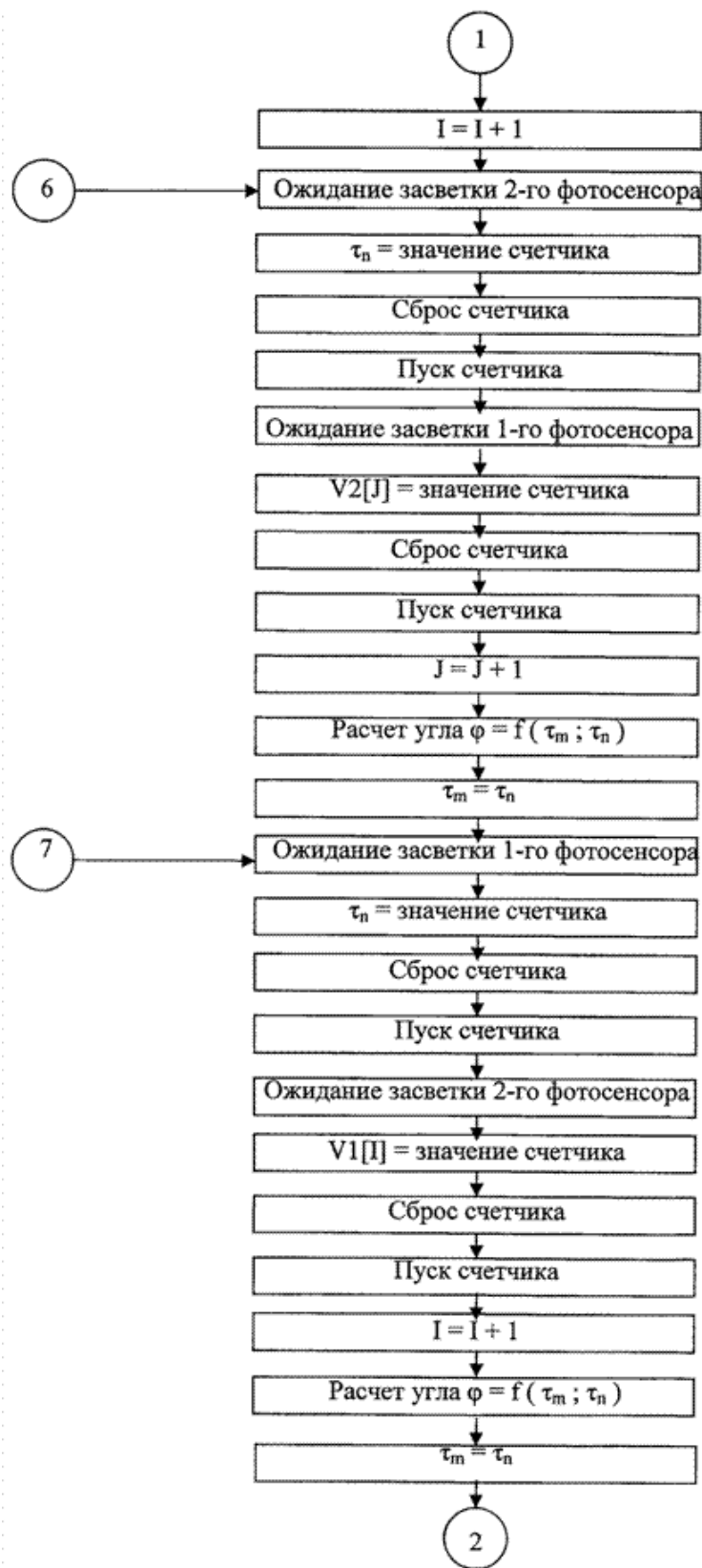
Фиг. 5



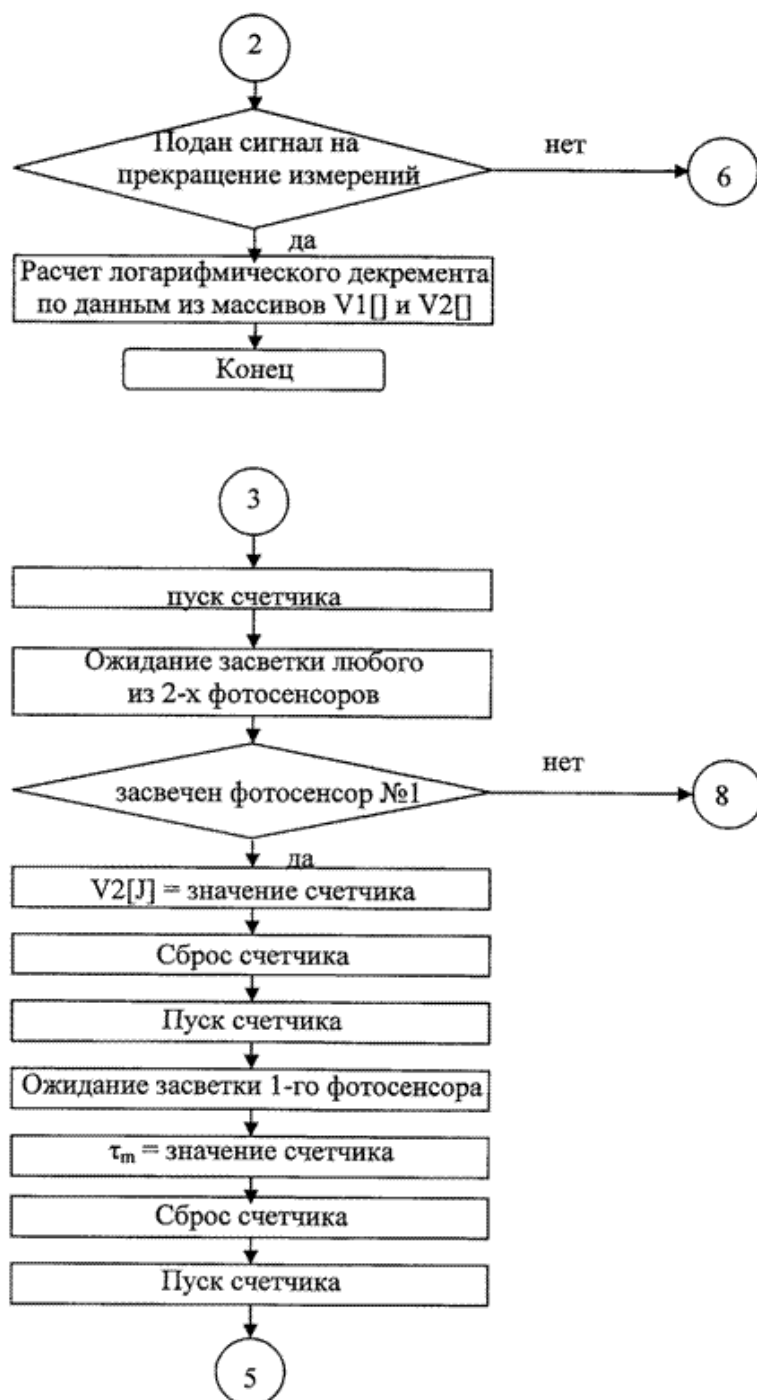
Фиг. 6



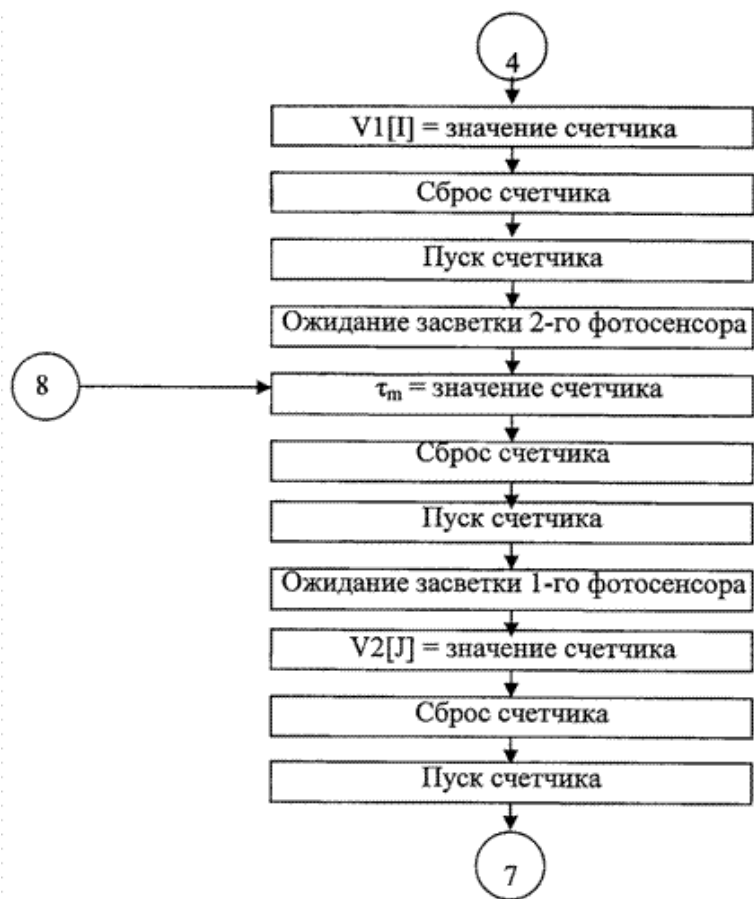
Фиг. 7



Фиг. 7 (продолжение)



Фиг. 7 (продолжение)



Фиг. 7 (продолжение)

## ИЗВЕЩЕНИЯ

**ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе**

Дата прекращения действия патента: **22.10.2012**

Дата публикации: [10.08.2013](#)